

Journal of Image
and Graphics

中国图象图形学报



ISSN1006-8961
CN11-3758/TB

2012 **10**
Vol.17 No.

中国科学院遥感应用研究所
中国图象图形学学会主办
北京应用物理与计算数学研究所

中国图象图形学报

Zhongguo Tuxiang Tuxing Xuebao

2012年10月 第17卷 第10期(总第198期)

目次

综述

张量值图像插值方法综述 邵宇, 刘莹, 孙富春(1197)

图像处理和编码

利用模运算及其周期性特点的安全隐写算法 廖琪男(1206)

结合快速融合与颜色传递的双波段夜视图像染色 李郁峰, 冯晓云, 徐铭蔚, 黄文丽(1213)

Weber 定律下尺度空间的自适应构建 刘立, 张瑞军, 万亚平, 黄欣阳, 彭复员(1222)

改进权值函数的非局部均值去噪算法 单建华(1227)

图像分析和识别

非相似度保持投影 陈才扣, 侯钰(1232)

非正交二值子空间模板表示的并行生成 杨培, 武港山, 杨扬, 任桐炜(1237)

Adaboost 和随机图划分的无监督图像分类 李巍, 杨素锦, 段晓华(1245)

aiNet 背景抑制的单帧红外弱小目标检测 陈炳文, 王文伟, 秦前清(1252)

韦伯-中心环绕结构的图像显著性检测模型 林丽莉, 周文晖(1261)

气象传真图信息提取 李存东, 肖传毅, 潘海朗, 陈日清, 杨劲松(1268)

图像理解和计算机视觉

多要素空间场景相似性匹配模型及应用 宋腾义, 汪闽(1274)

计算机图形学

Delaunay 三角网通用合并算子及分治算法的简化 刘永和, 冯锦明, 郭维栋, 田根, 金毅(1283)

基于 Laplace 谱嵌入和 Mean Shift 的三角网格一致性分割 马亚奇, 李忠科, 赵静(1292)
断裂面匹配的破碎刚体复原 李群辉, 周明全, 耿国华(1298)

虚拟现实与增强现实

核爆炸外观景象实时模拟 郑涛, 徐晓刚, 邵承永(1305)

医学图像处理

全局脑白质纤维群智能跟踪算法 冯远静, 王哲进, 张贵军, 俞立(1312)

遥感图像处理

对偶四元数线阵遥感影像几何定位 盛庆红, 姬亭, 刘微微, 王惠南(1319)

修正安装矩阵提高 FY-3B/MERSI 的地理定位精度 吴荣华, 杨忠东, 关敏, 李翔翔(1327)

中国图象图形学报

刊名题字: 宋 健

月刊(1996 年创刊)

第 17 卷 第 10 期

2012 年 10 月 16 日出版

主管单位 中国科学院

主 办 中国科学院遥感应用研究所
中国图象图形学学会
北京应用物理与计算数学研究所

主 编 李小文

编辑出版 《中国图象图形学报》编辑出版委员会

北京 9718 信箱 邮编 100101
电子信箱:jig@irsa.ac.cn
电话:010-64807995 010-82614429
网 址:www.cjig.cn

印刷装订 北京北林印刷厂

广告经营许可证 京朝工商广字第 0346 号

总 发 行 北京报刊发行局

订 购 全国各地邮局

国外发行 中国国际图书贸易总公司
(中国国际书店)
(北京 399 信箱 邮编 100044)

Superintended by Chinese Academy of Sciences

Sponsored by Institute of Remote Sensing Application,
CAS China Society of Image and Graphics
Institute of Applied Physics and Computational
Mathematics

Chief editor LI Xiaowen

Editor, Publisher Editorial and Publishing Board
of Journal of Image and Graphics
(P. O. Box 9718, Beijing 100101, China)
E-mail:jig@irsa.ac.cn

Distributed by Beijing Bureau for Distribution of Newspapers
and Journals

Domestic All Local Post Offices in China

Foreign China International Book Trading Corporation
(P. O. Box 399, Beijing 100044, China)

Printed by Beijing Beilin Printing House

ISSN 1006-8961 CN11-3758/TB CODE ZTTFXZ 国内邮发代号: 82-831 国外发行代号: M1406 国内定价: 45.00 元

Journal of Image and Graphics

(Monthly, Started in 1996)

Vol. 17 No. 10 October 2012

Contents

Review

Overview of tensor valued images interpolation technology Shao Yu, Liu Ying, Sun Fuchun (1197)

Image Processing and Coding

Secure steganography based on modulo and its cyclical characteristic Liao Qinan (1206)

Night vision dual-band images coloration using fast fusion and color transfer
..... Li Yufeng, Feng Xiaoyun, Xu Mingwei, Huang Wenli (1213)

Adaptive algorithm of scale-space construction method based on Weber's law
..... Liu Li, Zhang Ruijun, Wan Yaping, Huang Xinyang, Peng Fuyuan (1222)

Non-local means denoising algorithm with enhanced weight function Shan Jianhua (1227)

Image Analysis and Recognition

Dissimilarity preserving projection Chen Caikou, Hou Yu (1232)

Parallel algorithm for generating template representation based on non-orthogonal binary subspace
..... Yang Pei, Wu Gangshan, Yang Yang, Ren Tongwei (1237)

Unsupervised image categorization based on Adaboost and stochastic graph partition Li Wei, Yang Sujin, Duan Xiaohua (1245)

Infrared dim target detection in single image based on background suppression by aiNet
..... Chen Bingwen, Wang Wenwei, Qin Qianqing (1252)

Image saliency detection model with Weber's law based on center-surround structure Lin Lili, Zhou Wenhui (1261)

Information extraction from meteorological facsimile maps
..... Li Cundong, Xiao Chuanyi, Pan Hailang, Chen Riqing, Yang Jinsong (1268)

Image Understanding and Computer Vision

Multi-feature based spatial scene matching model and its application Song Tengyi, Wang Min (1274)

Computer Graphics

Merging planar Delaunay triangulations based on universal operators and the implementation of a divide-conquer algorithm
..... Liu Yonghe, Feng Jinming, Guo Weidong, Tian Gen, Jin Yi (1283)

Consistence segmentation of triangle mesh using Laplace spectral embedding and Mean Shift
..... Ma Yaqi, Li Zhongke, Zhao Jing (1292)

Reassembly of broken 3D solids based on fractured surfaces matching Li Qunhui, Zhou Mingquan, Geng Guohua (1298)

Virtual Reality and Augmented Reality

Real-time simulation of nuclear explosion scene Zheng Tao, Xu Xiaogang, Shao Chengyong (1305)

Medical Image Processing

Global white matter tractography using swarm optimization Feng Yuanjing, Wang Zhejin, Zhang Guijun, Yu Li (1312)

Remote Sensing Image Processing

Geo-positioning line-array CCD images with dual quaternion Sheng Qinghong, Ji Ting, Liu Weiwei, Wang Huinan (1319)

Improved FY-3B/MERSI geolocation accuracy using installation matrix
..... Wu Ronghua, Yang Zhongdong, Guan Min, Li Xiangxiang (1327)

中图法分类号: TN911.73 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2012)10-1268-06

论文引用格式: 李存东, 肖传毅, 潘海朗, 陈日清, 杨劲松. 气象传真图信息提取[J]. 中国图象图形学报, 2012, 17(10): 1268-1273.

气象传真图信息提取

李存东^{1,2}, 肖传毅^{1,2}, 潘海朗^{1,2}, 陈日清¹, 杨劲松²

1. 南京理工大学电子工程与光电技术学院, 南京 210094;

2. 国家海洋局第二海洋研究所卫星海洋环境动力学国家重点实验室, 杭州 310012

摘要: 该文采用图像处理方法提取气象传真图中等位势高度线、等位势涡度线、锋线等信息, 以便于分析及与其他信息的融合。提出一种新的基于多区域特征点(块)配对的交叉线识别方法提取交叉的等位势高度线, 提出新的向量积算法识别等位势涡度线中的虚线段, 综合多种三角形提取方法提取锋线上的三角形。实验结果表明, 这些方法能够有效地识别出气象传真图中等位势高度线、等位势涡度线、锋线。

关键词: 气象传真图; 特征点; 等位势高度线; 向量积; 等位势涡度线

Information extraction from meteorological facsimile maps

Li Cundong^{1,2}, Xiao Chuanyi^{1,2}, Pan Hailang^{1,2}, Chen Riqing¹, Yang Jinsong²

1. School of Automation, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China;

2. State Key Laboratory of Satellite Ocean Environment Dynamics, Second Institute of Oceanography,

State Oceanic Administration, Hangzhou 310012, China

Abstract: In this paper we describe the use of image processing methods to extract important information from meteorological facsimile maps for analysis and integration with other information. We propose a method based on matching feature points to judge intersecting lines. Furthermore, we propose a method based on vector products to recognize dotted line segments on vorticity lines, and we combine these methods to extract triangles on frontal lines. Experiments show that these methods work effectively.

Key words: meteorological facsimile maps; feature points; geopotential height lines; vector product; vorticity lines

0 引言

目前采用数字图像处理方法提取传真图中的信息尚处于发展阶段, 是数字图像处理技术与气象学的又一创新性结合。

Kawakita^[1]通过气象卫星传真图像的处理系统来理解风向量海洋表面温度、云高度等气象数据。Lu 等人^[2]通过计算图像中像素幅值变化的标准偏

差 σ 来评估接收的气象传真图像的质量。Bradley 等人^[3]建立了气象卫星图像分析工具进行气象学和大气研究。国内廖木星等人^[4]研究了适用于气象传真图预处理中二值化方法和确定阈值的方法。李永尧等人^[5]运用数字图像处理以及计算机视觉技术建立基于数字图像的天气识别系统。李艳兵等人^[6]给出了卫星云图形态特征提取和表示的一种方法。柴宝仁^[7]针对气象传真图中大量的椒盐噪声, 提出一种自适应中值滤波算法。刘繁明等人^[8]提出一种通

收稿日期: 2011-06-27; 修回日期: 2011-08-29

基金项目: 国家自然科学基金项目(61075031); 卫星海洋环境动力学国家重点实验室开放研究基金项目(SOED1009)

第一作者简介: 李存东(1987—), 男, 南京理工大学控制理论与控制工程在读硕士研究生, 主要研究方向为图像处理、计算机视觉。

E-mail: dong871343@126.com

通讯作者: 潘海朗, E-mail: panhailang@126.com

过识别气象传真图图题来判断传真图种类的方法。

气象传真图包含分析图、预报图、气候图、地面资料图等多个种类。本文主要研究了传真天气图。传真天气图包含各种字符、锋线、等压线等信息。该文结合数字图像处理技术有效地提取了传真天气图像中的各种信息,主要提出了一种新的基于多区域特征点(块)配对的交叉线识别方法提取交叉的等位势高度线,提出了新的向量积算法识别等位势涡度线中的虚线段,综合多种三角形提取方法提取锋线上的三角形,实验结果表明,这些方法能有效地识别传真天气图中的相关信息。

1 等位势高度线识别

气象传真图中信息的复杂性,会造成不同的信息曲线(如等位势高度线)之间发生交叉现象,给信息的正确识别带来困难。因此,如何正确地识别归类交叉线,成为信息融合中非常关键的部分。目前交叉线识别研究状况如下:Kasturi 等人^[9-11]提出的方法在一定程度上可以进行交叉线的识别,但其是以彩色图像为基础;王金鹤等人^[12]提出了一种基于条块图的交叉区域的识别处理方法;孙贞寿等人^[13]提出了一种用 Hopfield 神经网络识别交叉线的模型算法。对于交叉点的检测,Lv^[14]提出一种基于预测跟踪技术,通过超前扫描及旋转交叉检测框来检测交叉点。

1.1 交叉区域检测及特征点(块)获取

图 1 为一典型交叉区域, K 是边宽为 1 个像素、大小适当的矩形检测框,线段与矩形检测框 K 的交点分别为 A 、 B 、 C 、 D ,如果这些交点在矩形检测框 K 内部属于同一连通域,则认为该区域为交叉区域, A 、 B 、 C 、 D 为交叉区域的特征点。

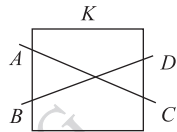


图 1 交叉区域

Fig. 1 Zone of intersection

取一个适当大小的矩形检测框在图像中滑动扫描,找到符合交叉区域定义的区域,作为交叉区域。在实际扫描中矩形检测框的边界可能会正好处于交叉点处,如图 2 所示,这个缺陷会导致少数交叉区域被漏检。为了解决这个问题,该文结合了两种新的方法来检测交叉区域:

方法 1 采用不同尺寸的矩形检测框滑动扫描,如图 3 所示。

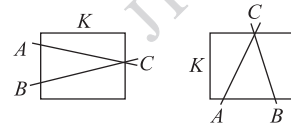


图 2 交叉点处于边界

Fig. 2 Intersection at the boundaries

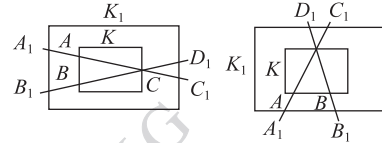


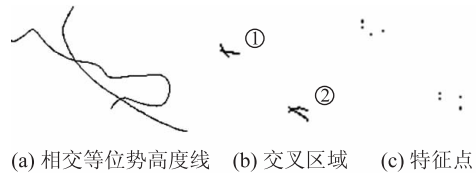
图 3 多尺寸矩形检测框

Fig. 3 Rectangular boxes of different sizes

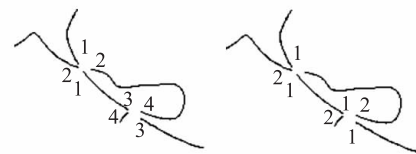
方法 2 矩形检测框在同一位置逐步增加检测框各边尺寸,直至被检测区域满足交叉区域定义,该文中检测框尺寸最多可增加 5 个像素。

1.2 多区域特征点配对

该文采用的矩形检测框尺寸较小,近似认为检测出来的交叉区域内线段为直线段,但在实际情况中,可能某些交叉区域中的线段并非直线段,斜率在交叉点两侧会有较大的变化,如图 4(b)中的交叉点②,根据斜率变化特征,无法正确地将特征点配对。该文根据交叉区域中特征点的分布特性,采用了一种基于多区域特征点配对的方法进行特征点配对。如图 1 所示,匹配点在矩形检测框边界上间隔排列,找出 A 、 B 、 C 、 D 中的任意一点记为 d_1 ,以该点为基准点沿矩形检测框边界顺时针或逆时针扫描,找出第 2 个点为 d_2 ,第 3 个点为 d_3 ,第 4 个点为 d_4 ,则 d_1 与 d_3 为匹配点, d_2 与 d_4 为匹配点,将匹配点标记成相同的标号。特征点配对结果如图 4(d)所示。



(a) 相交等位势高度线 (b) 交叉区域 (c) 特征点



(d) 特征点配对 (e) 匹配点归类

图 4 特征点配对过程

Fig. 4 Feature point matching

遍历每个交叉区域,交叉区域①中标号为 1 的特征点与交叉区域②中标号为 3 的特征点处于同一个连通域,判断标号为 1 的特征点与标号为 3 的特征点属于同一条曲线,将图中所有标号为 3 的点重新标记为 1,采用同样的方法对交叉区域中其他特征点进行处理,特征点匹配归类结果如图 4 (e) 所示。将与特征点处在同一连通域中的其他点标记成与其相同的标记号,分别提取出代表不同信息的相交曲线。该文中基于多区域特征点配对的交叉线识别法也适用于多条线交于同一点的情况。

2 等位势涡度线识别

该文根据同一虚线中相邻线段之间距离以及斜率的关系提出了一种基于向量积的虚线识别方法,该方法具体过程如图 5 所示,以线段 A 中心点为基准点,取适当大小矩形区域(该文所取矩形区域宽为 32 个像素),如图 5(b),该矩形区域包含线段 A 周围相邻的线段。如图 5(c) 所示,以线段 B 为例,B 的端点坐标为 $B_1(x_{B_1}, y_{B_1})$, $B_2(x_{B_2}, y_{B_2})$, A 的端点坐标为 $A_1(x_{A_1}, y_{A_1})$, $A_2(x_{A_2}, y_{A_2})$, 则 $B_2B_1 = (x_{B_1} - x_{B_2}, y_{B_1} - y_{B_2})$, $B_1A_1 = (x_{A_1} - x_{B_1}, y_{A_1} - y_{B_1})$, $A_1A_2 = (x_{A_2} - x_{A_1}, y_{A_2} - y_{A_1})$, 若满足 $|B_2B_1 \times B_1A_1|$ 与 $|B_1A_1 \times A_1A_2|$ 同号,说明线段 B 与线段 A 属于同一条虚线,对矩形区域内其他线段作同样处理,识别结果如图 5(d),线段 C, D 与线段 A 属于同一条虚线,标记为相同标记号。对图中其他线段作同样处理,识别结果如图 5(e) 所示。

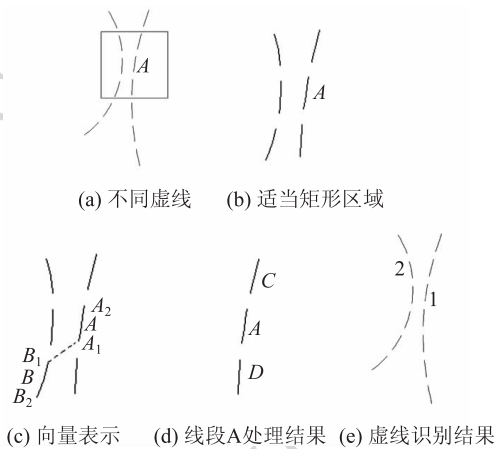


图 5 虚线识别
Fig. 5 Recognition of dotted lines

3 锋线提取

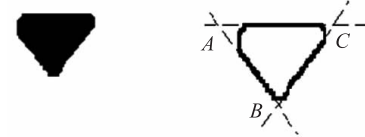
该文根据锋线的形状特征,提出了一种锋线的提取方法。该方法首先确定图中三角形的位置,然后根据三角形的位置提取锋线。

3.1 三角形提取

该文针对气象传真图锋线上三角形的特征结合外接三角形^[15]和模板匹配两种方法提取三角形。

3.1.1 外接三角形法

气象传真图中有些三角形本身存在一些残缺,如图 6 所示,其像素面积为 S 。



(a) 不完整三角形 (b) 外接三角形

图 6 残缺三角形检测

Fig. 6 Detection of an incomplete triangle

首先通过 candy 算子检测出其边缘,然后采用霍夫变换拟合出它的外接三角形 ABC(如果通过霍夫变换检测出的直线为两条,4 条或 4 条以上就当作非三角形),如图 6(b) 所示,记其中一个角为 α (假设为点 C 的角),三角形面积为

$$S_1 = \frac{1}{2}absin \alpha \tag{1}$$

式中, $\alpha = arccos \frac{a^2 + b^2 - c^2}{2ab}$ 。

设 $T_s = \frac{S_1}{S}$, 当 T_s 近似等于 1 时,则认为该连通域为三角形。该方法也适用于规则几何图形中三角形的检测。

3.1.2 模板匹配法提取三角形

设模板 T 叠放在搜索图 G 上平移,模板覆盖下的那块搜索图区域称为子图 $S_{i,j}$, i, j 为该子图中心点在 G 图中的坐标,称为参考点,如图 7 所示。

比较 T 和 $S_{i,j}$ 的像素值,则 T 和 $S_{i,j}$ 的相似程度为

$$D(i, j) = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^M [S_{i,j}(m, n) - T(m, n)]^2 = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^M [S_{i,j}(m, n)]^2 + \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^M [T(m, n)]^2 -$$

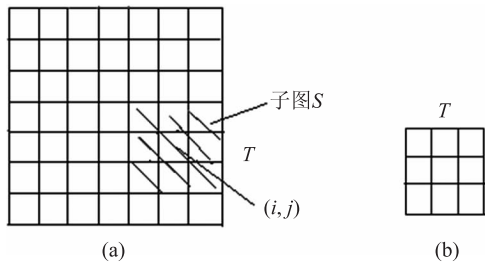


图 7 原图与模板

Fig. 7 Original image and a template

$$\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^M [S_{i,j}(m,n)T(m,n)] \quad (2)$$

式中,第 2 项表示模板的总能量,为一个常数,与 (i,j) 变化无关;第 1 项是待匹配模板的能量,随 (i,j) 位置的变化缓慢改变;第 3 项是待匹配模板与模板的互相关函数,随 (i,j) 位置的变化而改变。 T 和 $S_{i,j}$ 匹配正确时该项值最大,因此可以用下列相关函数进行相似性测量

$$R(i,j) = \frac{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^M [S_{i,j}(m,n)T(m,n)]}{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^M [S_{i,j}(m,n)]^2} \quad (3)$$

式中, $0 < R(i,j) < 1$ 。

选择与气象传真图中大小以及形状接近的三角形作为模板,将三角形模板每隔 30° 旋转一次保存成新的模板,并将气象传真图中一些形状很不规则的三角形提取作为模板。采用这些模板与待识别三角形匹配提取三角形。

3.2 锋线提取结果

该文首先根据传真图像中等高线、海岸线、锋线以及三角形所在区域宽度差异分割出三角形和锋线(初步分割),然后综合以上几种三角形提取方法提取出所有三角形。

记 X_c 、 Y_c 分别为每个连通域中心点的横坐标和纵坐标, $Gx[X,Y]$ 为任意一点 $[X,Y]$ 对应的连通域标记号,当 $[X,Y]$ 满足

$$Gx[X,Y] = Gx[X_c,Y_c] \quad (4)$$

时,则 $[X,Y]$ 保留;否则,点 $[X,Y]$ 的像素值置为 255。

4 实验结果与分析

采用各种信息提取算法在实际气象传真图中进行测试,开发环境 VC。

实际气象传真图中发生交叉的信息曲线识别结果如图 8 所示,其中图 8(b)中各个线段分别表示识别出的所有交叉线段,黑色小方块区域表示交叉区域,在信息提取系统中这些曲线被标记成不同的颜色。根据本文交叉线识别算法,实验中选取了不同尺寸矩形检测框,分别为 9 个像素宽,13 个像素宽和 17 个像素宽,实验结果表明该算法可以有效检测出气象传真图中 90% 以上的交叉区域,并正确地对交叉线进行识别。采用本文算法对多幅传真天气图进行试验,平均耗时在 3 s 左右。

气象传真图中等位势涡度线(虚线)识别结果如图 9 所示,其中图 9(b)中的标号表示不同的信息

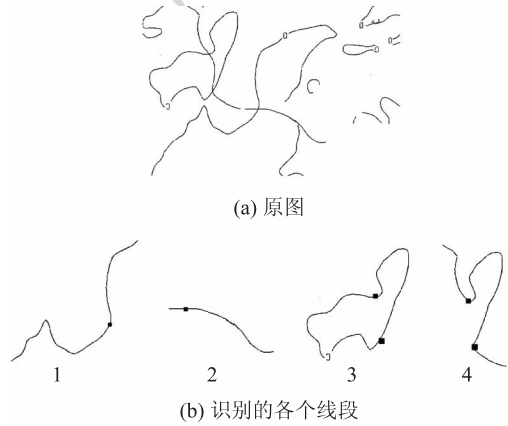


图 8 交叉线识别

Fig. 8 Recognition of intersecting lines

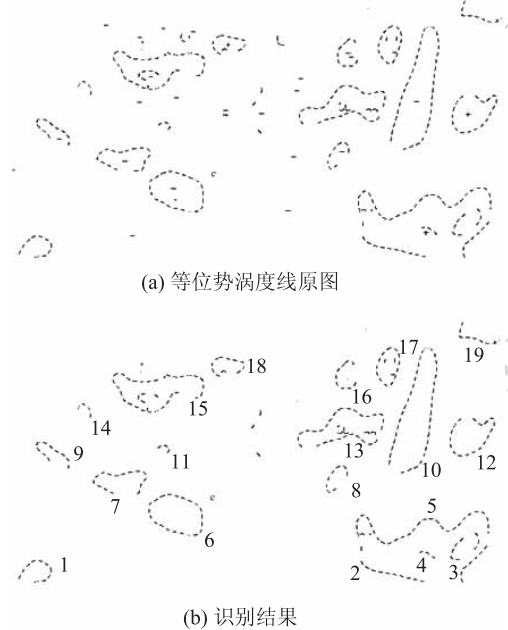


图 9 等位势涡度线识别

Fig. 9 Recognition of dashed lines

涡度线,在信息提取系统中这些虚线段被标记成不同的颜色。

气象传真图中等锋线识别结果如图 10 所

示,本文中锋线提取方法可以有效地识别出气象传真图中所有锋线,其中三角形识别正确率在 92% 以上。

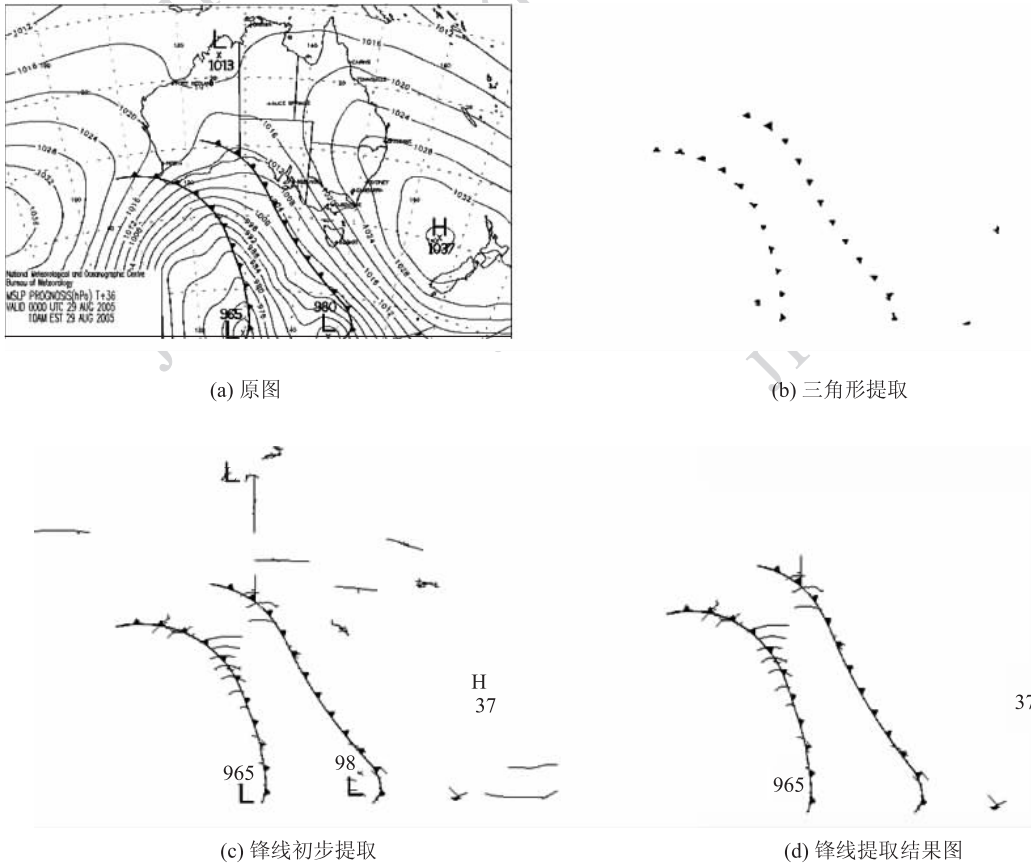


图 10 锋线提取

Fig. 10 Extraction process of front lines

5 结 论

采用图像处理方法提取气象传真图中各种信息,包括了基于多区域特征点配对的交叉线识别方法、基于向量积的虚线识别方法、以及三角形识别方法,实验结果表明,该方法可以有效地识别出传真图像中等位势高度线、等位势涡度线和锋线。下一步主要任务是将提取出来的气象信息与地理位置信息以及时间信息进行融合,从而实现气象信息分析的智能化。

参考文献 (References)

[1] Kawakita H. Meteorological satellite image processing system [J]. Systems and Control,1982,10(26):615-623.

[2] Lu Y X, Yasuda A, Yamashita K. High quality reception and evaluation of images from GMS [J]. Journal of Japan Institute of Navigation,1992,87:227-234.

[3] Bradley S G, Green S R. A low-cost satellite image reception and analysis facility[J]. Weather March,1987,3(42):77-85.

[4] Liao M X, Fang Y, Zhao W. Binarization of meteorological facsimile maps[J]. Journal of Qingdao Ocean Shipping Mariners College, 1998,19(1):1-5. [廖木星,方越,赵伟.气象传真图的二值化方法[J].青岛远洋船员学院学报,1998,19(1):1-5.]

[5] Li Y Y, Zheng C T, Wan X M. Weather identification system based on digital image[J]. Journal of Fujian Normal University, 2009,25(2):24-27. [李永尧,郑陈婷,王晓明.基于数字图像的天气识别系统[J].福建师范大学学报,2009,25(2):24-27.]

[6] Li Y B, Li Y X, Zhai J Q. A method of extracting and presenting features of form of satellite images[J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology, 2006,29(5):682-687. [李艳兵,李元祥,翟景秋.卫星云图形态特征提取和表示的一种方法[J].南京气象学院学报,2006,29(5):682-687.]

- [7] Chai B R. On the utilization of median filter in noise reduction of Meteorological facsimile maps[J]. Journal of Beijing Institute of Technology,2011,31(4):417-419. [柴宝仁. 中值滤波在气象传真图中降噪的分析[J]. 北京理工大学学报,2011,31(4):417-419.]
- [8] Liu F M, Sun M X, Xin K. Identification of meteorological facsimile maps titles[J]. Applied Science and Technology,2010,37(12):52-55. [刘繁明,孙铭雪,邢坤. 气象传真图图题识别[J]. 应用科技,2010,37(12):52-55.]
- [9] Kasturi R, Alemany J. Information extraction from images of paper-based maps [J]. IEEE Transactions on Software Engineering,1988,14(5):671-675.
- [10] Ejiri M, Kakumoto S, Miyatake T, et al. Automatic recognition of design drawings and maps [C]// Proceedings 7th International Conference Pattern Recognition. Silver Spring: IEEE Computer Society Press,1984:1296-1305.
- [11] Kasturi R, Shih R, Fletcher L. An approach for automatic recognition of graphics [C]// Proceedings of the 8th International Conference on Pattern Recognition. Washington D C, USA: IEEE Computer Society Press,1986:877-879.
- [12] Wang J H, Ou Z Y, Xia X D. Methods for crossing area recognition in scanned engineering drawing [J]. Journal of Image and Graphics,1999,4A(9):751-755. [王金鹤,欧宗瑛,夏晓东. 工程扫描图像中交叉区域识别处理方法的研究[J]. 中国图象图形学报,1999,4A(9):751-755.]
- [13] Sun Z S, Qian G, Huang K. Intersection lines recognition using hopfield neural network [J]. Journal of Image and Graphics,1998,3(8):684-687. [孙贞寿,钱刚,黄琨. 基于 Hopfield 神经网络的交叉线识别算法[J]. 中国图象图形学报,1998,3(8):684-687.]
- [14] Lv J P. Discussion on the algorithm for line intersection recognition [J]. Microelectronics & Computer,2005,22(9):40-42.
- [15] Li H B, Yi W D. An efficient way to detect whether there is a triangle in the image [J]. Journal of Image and Graphics,2008,13(3):456-460. [黎海兵,易卫东. 一种高效检测图像中是否有三角形的算法[J]. 中国图象图形学报,2008,13(3):456-460.]